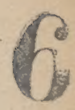
FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS



ORIGINE ET TRANSFORMATIONS

DES

MATIÈRES AZOTÉES

CHEZ LES ÊTRES VIVANTS



THÈSE

PRÉSENTÉE AU CONCOURS POUR L'AGRÉGATION

(Section de physique et de chimie)

PAR

Le Docteur Gabriel GUERIN

Chef des travaux de chimie organique et de toxicologie à la Faculté mixte de médecine et de pharmacie de Lyon.

PARIS

A. PARENT, IMPRIMEUR DE LA FACULTÉ DE MEDECINE

A. DAVY, Successeur

52, RUE MADAME ET RUE CORNEILLE, 3

1886

0 1 2 3 4 5 (cm)

CONCOURS D'AGREGATION

SECTION DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE

Membres du jury :

Président : M. GAVARRET.
Juges : MM. REGNAULD.
GAUTIER, *membre de l'Académie de médecine.*
GARIEL, *membre de l'Académie de médecine.*
CROLAS.
MOITESSIER.

Candidats :

PHYSIQUE.	CHIMIE.	PHARMACIE.
MM. DIDELOT.	MM. VILLEJEAN.	MM. FLORENCE.
LAURET.	LAMBLING.	THIBAUT.
MALOSSE.	HUGOUNENQ.	
BOREL.	GUÉRIN.	
	MORELLE.	

INTRODUCTION

L'histoire chimique de l'origine et des transformations que subissent les matières azotées dans l'organisme des êtres vivants est, sans contredit, un des problèmes les plus obscurs, sinon des moins étudiés de la chimie biologique.

La connaissance des produits qui apparaissent dans les divers stades de l'*assimilation* et de la *désassimilation* des substances albuminoïdes, nous conduisent à penser que les réactions chimiques qui s'accomplissent dans l'intimité de nos tissus sont essentiellement des phénomènes d'oxydations, d'hydratations et de dédoublements.

Nous pensons même que tous les principes immédiats de la matière vivante se créent à l'aide des procédés les plus élémentaires, par simple combinaison de leurs éléments constituants ; mais pour aller plus loin dans l'interprétation de ces phénomènes, ce n'est pas une connaissance plus approfondie et plus exacte de la constitution moléculaire des corps formés, dans ces conditions, qui nous serait indispensable, mais bien la façon dont ces phénomènes se sont produits, les phases par lesquelles sont passées les com-

binaisons matérielles avant de parvenir à l'état complexe que présente la matière vivante.

En d'autres termes, il faudrait que les procédés synthétiques, que mettent en œuvre les chimistes pour la formation des corps azotés, fussent le calque fidèle de ceux qu'emploie la nature.

Notre travail a été divisé en trois chapitres.

Dans le premier, nous nous occupons de l'origine de l'azote et des divers états sous lesquels il doit se présenter pour devenir assimilable.

Les deux autres ont trait aux transformations que subissent les matières azotées : 1° dans l'organisme végétal; 2° dans l'organisme animal.

ORIGINE ET TRANSFORMATIONS

DES

MATIÈRES AZOTÉES

CHEZ LES ÊTRES VIVANTS

CHAPITRE PREMIER

ORIGINE DE L'AZOTE.

C'est dans l'atmosphère et dans le sol que les végétaux puisent tous les matériaux qui leur sont nécessaires pour élaborer les principes immédiats qu'ils renferment. Cette formation de matière organique, manifestation et condition de la vie à la surface de la terre, est le résultat des mutations et des métamorphoses qui s'accomplissent dans l'intimité de leurs tissus et le but essentiel des phénomènes de nutrition dont ils sont le siège.

L'existence de tout végétal, de la matière de vie, comme on l'a appelé, dépend, outre la réalisation d'un milieu convenable et de conditions climatériques appropriées, de la préexistence de certains composés, savoir : l'oxygène, l'acide carbonique, l'eau et l'ammoniaque. Ce sont là, en effet, les composés primordiaux indispensables au maintien de la vie de l'organisme végétal. Faites disparaître du monde l'un quelconque d'entre eux, et tous les phénomènes vitaux vont prendre fin.

Lorsque le végétal a parcouru le cycle complet de son évolution, sa substance entre dans une phase nouvelle, elle se résout par la mort, qui est la condition dernière de la manifestation de son activité, en acide carbonique, eau et ammoniaque, lesquels certainement ne possèdent pas d'autres propriétés que celles de la matière ordinaire. C'est ensuite aux dépens de ces mêmes formes de la matière ordinaire, mais jamais de formes plus simples, que les végétaux édifient le protoplasma dans lequel on voit se manifester les phénomènes de la vie végétale, protoplasma que les animaux reprennent à leur tour pour maintenir leur existence, comme nous le verrons bientôt en traçant quelques points de l'histoire physiologique de ce corps.

Il semble donc que les plantes accumulent la puissance que les animaux distribuent et dispersent; en d'autres termes, que l'organisme végétal est formateur et que l'organisme animal, au contraire, est oxydant, décomposant et destructeur.

Ainsi l'admettaient, il y a peu de temps encore, les partisans des théories dualistes. Les animaux, d'après eux, posséderaient seuls le pouvoir d'assimiler, de transformer et de détruire les matières organiques élaborées par les végétaux. La synthèse chimique, c'est-à-dire la formation des principes immédiats resterait l'apanage exclusif du végétal, et l'agent cellulaire qui préside à la formation synthétique de ces principes immédiats serait, par rapport à l'animal,

ce qu'est la plante pour les composés qu'elle utilise à la création de ces mêmes principes.

Rien cependant de plus inexact qu'une pareille interprétation.

Aujourd'hui complètement ruinée, la doctrine de la dualité vitale ne saurait être soutenue par personne. La conception fondamentale de la vie exige, dans tout être animal ou végétal, la réunion des phénomènes de création et de destruction organiques.

Les principes constitutifs des êtres organisés et vivants comptent, pour la plupart, l'azote commé élément essentiel. Il est, en effet, peu de corps qui soient aussi abondamment répandus que l'azote. Il constitue les quatre cinquièmes environ de l'air atmosphérique, où il se trouve à l'état de simple mélange. Il se dégage parfois en grande quantité et presque pur, du sein de la terre, pendant les phénomênes volcaniques, ou des crevasses qui se manifestent dans différentes parties du globe, pendant les tremblements de terre. Enfin, il se produit quelquefois encore en abondance dans certaines mines, et résulte, d'après Leblanc, de la présence de sulfures de cuivre et de fer, qui sont très avides d'oxygène et enlèvent ce dernier à l'air confiné dans les galeries.

C'est surtout à l'état d'azotate qu'on le trouve dans le règne minéral ; nous verrons bientôt par suite de quel mécanisme. Dans le règne végétal, et principalement dans le règne animal, il fait partie d'une foule de corps définis dont la composition est très complexe : ainsi, par exemple, toutes les substances

animales, à l'exception des corps gras et de quelques autres principes hydrocarbonés, en contiennent.

L'azote semble, comme on l'a dit, être le pivot sur lequel tournent les transformations chimiques de la vie animale, comme le carbone est celui autour duquel se meuvent les phénomènes de la végétation.

L'un des caractères essentiels de l'azote, au point de vue chimique c'est, comme chacun sait, l'inertie relative dont il est doué et la difficulté avec laquelle il se combine avec d'autres corps. Il forme, il est vrai, des combinaisons avec presque tous les corps simples, mais ces combinaisons ne peuvent jamais s'obtenir à froid et d'une manière directe ; ce n'est qu'au rouge qu'il parvient à s'unir au bore, au silicium, au titane et au tungstène, etc. ; bien plus, ce gaz, à la température ordinaire, ne contracte aucun combinaison avec l'ozone, en présence des alcalis, pour donner naissance, ainsi que l'avait annoncé Schœbein, à des composés nitreux. La réfutation de ces faits, dont l'importance est considérable, a été bien établie par M. Berthelot. (*Annales de chimie et de physiqne* (5), t. XII.)

Rechercher l'origine des matériaux azotés, c'est-à-dire de l'azote, c'est rechercher l'origine de la matière vivante, car nous savons, que toute matière vivante est de nature essentiellement *protéique*.

Il est peu de questions qui aient soulevé de plus nombreuses et plus ardentes polémiques. Les savants de toutes les époques ont concentré leurs efforts à la résolution de ce problème, attaqué par toutes ses faces ce grand mystère, lequel paraît déjà moins im-

pénétrable et rentrera un jour, peu éloigné peut-être, dans le domaine des faits acquis.

On connaît la théorie de l'origine des espèces émise il y a plusieurs années par Darwin. Si elle ne nous donne pas une solution complète du problème, il faut reconnaître qu'elle lui a fait faire un pas considérable, en rendant ce domaine obscur accessible aux investigations indépendantes de la science basée sur l'observation fidèle de la nature.

Le principe essentiel de cette théorie est de ramener tout le règne animal et tout le règne végétal à des êtres simples, dont les descendants, se perfectionnant dans des directions différentes, sont arrivés peu à peu à constituer la nature animée telle que nous la connaissons.

Cette théorie supposée exacte, on se demande d'où peuvent provenir les types primitifs, les ancêtres des plantes et des animaux actuels. Aujourd'hui, cette question, au lieu de se rapporter, comme autrefois, à toutes les espèces connues, est limitée à quelques-unes des formes les plus simples d'êtres vivants, ou même à une seule : la forme *cellulaire*, ou mieux *protoplasmique*.

Le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote sont des corps sans vie. Le carbone et l'oxygène, placés dans des circonstances particulières, s'unissent en certaines proportions pour constituer l'acide carbonique. L'hydrogène et l'oxygène combinés forment de l'eau. Ces nouveaux composés sont aussi peu vivants que les corps élémentaires desquels ils dérivent, mais

leur union, dans certaines conditions déterminées, donne naissance à un corps plus complexe encore : le *protoplasma*, où la vie apparaît.

Telle est, dans son essence, l'hypothèse transformiste qui paraît rallier de nos jours le plus grand nombre d'adeptes. Nous n'avons pas à la commenter ici, et sans accompagner plus loin les partisans de la génération spontanée dans leurs théories spéculatives, si l'on se refuse à admettre que la première apparition de la matière vivante sur notre globe se soit produite naturellement, sous forme de protoplasma et par la simple combinaison de ses principes immédiats constituants, nous dirons, avec Claude Bernard : « Nous savons que la matière essentielle de l'organisation, le protoplasma, peut se présenter sous différentes formes. Après avoir été considérée comme une matière d'une constitution très simple, il est aujourd'hui regardé comme étant d'une structure très complexe. Tous les problèmes d'origine organique, toutes les questions qui s'y rattachent ne sont point résolus. Nous pouvons néanmoins nous arrêter à ce résultat général que les matériaux de l'édifice vivant représentent les différentes formes d'une substance unique dépositaire de la vie, identique dans les animaux et les plantes. C'est dans le protoplasma, matière seule active et travaillante, que nous devons chercher l'explication de la vie, aussi bien des phénomènes chimiques de la nutrition que des réactions vitales plus élevées de la sensibilité et du mouvement. » (Cl. Bernard, Leçons sur les phénomènes de la vie, p. 201.)

En 1875, un chimiste, M. Pflüger (1), a émis, relativement à la création organique, une hypothèse qu'on pourrait appeler l'hypothèse *cyanique*, bien différente de celle que nous venons d'exposer, et qui mérite d'être connue. Il fait remarquer que l'acide carbonique, l'eau et l'ammoniaque étant des corps très stables, c'est-à-dire difficiles à décomposer, il n'est guère admissible qu'ils aient servi à la synthèse des matières albuminoïdes, quoique ces dernières leur donnent naissance en se décomposant. « Ces corps, dit-il, sont le résultat et la terminaison de la vie plutôt qu'ils n'en sont le commencement » ; l'origine de la matière vivante, suivant l'auteur, doit être cherchée dans le *cyanogène*. Il admet qu'à l'époque où la terre était incandescente il a dû se former de grandes quantités de cyanogène CAz, et il suppose que ce cyanogène a résulté de la combinaison de l'azote provenant de certains corps composés d'azote et d'oxygène, avec le carbone de l'acide carbonique de l'atmosphère. Quant à la molécule d'albumine, elle ne s'est, en réalité, formée que pendant le refroidissement terrestre, lorsque les combinaisons du cyanogène et les hydrogènes carbonés ont eu le contact de l'oxygène de l'eau.

« Encore aujourd'hui le soleil engendre dans les plantes les constituants de l'albumine. Cela exclut toute idée de génération spontanée. La molécule vivante d'albumine est douée de la faculté de croître,

(1) Archiv. für Physiologie, t. X, 1875.

elle est toujours en voie de formation et n'a pas de caractère fixe de composition et d'équivalence chimique. Sous l'influence directe ou non du soleil, elle croît, et tout être vivant en une simple molécule d'albumine dérive de la molécule albumineuse primitive et unique développée à l'origine du monde terrestre.

« D'un autre côté, M. Pflüger, considérant l'albumine comme la base du protoplasma, examine pour ainsi dire son évolution chimique dans les deux conditions d'organisation et de désorganisation. Il y aurait dans le protoplasma qui se forme une albumine vivante dans laquelle l'azote est engagé sous forme de *cyanogène;* dans le protoplasma qui se détruit, une albumine morte dans laquelle l'azote est engagé sous la forme ammoniaque. Le passage de la vie à la mort, c'est-à-dire de l'incorporation au protoplasma, à la séparation d'avec lui, est donc pour l'abumine caractérisé par le déplacement de la molécule d'azote qui va du carbone à l'hydrogène et l'admission de l'albumine à l'activité vitale est caractérisée par le retour inverse. »

Nous avons à savoir maintenant comment l'azote libre élémentaire, si inerte dans l'atmosphère, peut passer à l'état de principe actif et finir par s'incorporer à l'organisme des êtres vivants. Étudions donc sous quelles autres formes on rencontre ce corps, non seulement dans l'atmosphère, mais aussi dans le sol, puisque ce sont eux qui constituent exclusivement pour les végétaux des réservoirs inépuisables d'azote.

DIVERS ÉTATS DE L'AZOTE DANS L'ATMOSPHÈRE ET LE SOL.

Cavendish observa le premier la combinaison de l'azote avec l'oxygène sous l'influence de l'étincelle électrique. Plus tard Lavoisier et Laplace reconnurent que, lorsqu'on fait détonner un mélange d'hydrogène et d'oxygène souillé d'azote, il se forme une proportion notable d'acide azotique.

On s'explique ainsi pourquoi les eaux de pluie renferment si souvent de petites quantités d'acide azotique.

Cette synthèse directe produite aux dépens des éléments de l'air sous la seule influence de l'électricité atmosphérique agissant par décharges violentes et instantanées ne donne pas naissance uniquement à de l'acide azotique. Ce phénomène, mieux étudié depuis, par un grand nombre de chimistes, s'est enrichi par la découverte de deux autres principes azotés engendrés en même temps, et on trouve toujours dans l'eau de pluie, à côté de l'acide nitrique, de l'azote nitreux et de l'azotite d'ammonium.

Cet azotite d'ammonium est d'origine exclusivement synthétique ; il résulte de la décomposition de l'eau, et c'est en agissant sur l'azote humide que l'étincelle en provoque la formation.

A la vérité, c'est bien toujours sous forme de composé ammoniacal, c'est-à-dire à l'état d'azotate et d'azotite d'ammonium que ces dérivés oxygénés de l'azote apparaissent dans les eaux météoriques ; mais une partie seulement de cette ammoniaque a pris naissance

sous l'action vive de l'effluve, l'air atmosphérique renfermant toujours une proportion d'ammoniaque unie à l'acide carbonique, bien supérieure à celle qu'exige la saturation de ces acides et dont l'origine est tout à fait étrangère à l'influence de l'électricité.

Ainsi donc, acide azotique, azotite d'ammonium et azote nitreux, tels sont les produits de synthèse qu'il convient d'attribuer à l'action de l'agent électrique s'accomplissant aux dépens des éléments de l'air et dans des conditions convenables d'humidité.

Il est probable que l'étincelle électrique agit surtout en cette circonstance comme source de chaleur; on se rappelle que H. Davy réussit à obtenir la combinaison de l'azote et de l'oxygène en introduisant dans un mélange de ces deux gaz une spirale de platine dont il déterminait l'incandescence au moyen d'un courant de pile.

D'autres expérimentateurs ont fait des observations analogues; M. Chevreul a constaté la formation de produits nitreux dans les produits de la combustion des corps gras. Tout récemment, M. Albin Figuier (1) a établi expérimentalement que plusieurs produits oxygénés de l'azote prenaient naissance durant la combustion d'une foule de composés les plus divers, tels que: l'essence de térébenthine, l'alcool éthylique, etc. Suivant les conditions thermiques de l'expérience, on pouvait constater la forma-

(1) M. Albin Figuier. Journal de pharmacie et de chimie, p. 374. Recherches sur la combustion, 1886.

tion de l'acide azotique, de l'acide azoteux et de petites quantités d'acide cyanhydrique.

On sait que l'ammoniaque, ainsi que nous l'avons dit, existe en petite quantité dans l'air atmosphérique sous forme de carbonate. La décomposition lente des matières azotées donne naissance à des émanations gazeuses riches en ammoniaque dont une partie seulement est retenue par le sol, tandis que l'autre se diffuse dans l'atmosphère. C'est bien là, croyons-nous, la source principale de l'ammoniaque atmosphérique.

Un certain nombre d'autres causes génératrices adjuvantes beaucoup moins importantes encore que les décharges de la foudre peuvent cependant venir s'y adjoindre et concourir aussi à augmenter la production de l'ammoniaque dans l'air ; mais elles ont une importance trop secondaire pour que nous puissions nous y arrêter et nous n'en ferons pas mention.

Entraînés par les eaux de pluie, tous ces composés ammoniacaux, azotate, azotite et carbonate d'ammonium pénètrent dans le sol qui les emmagasine et où ils auront à subir une série de métamorphoses sur lesquelles nous reviendrons bientôt.

L'analyse démontre que toutes les terres arables renferment de l'ammoniaque à l'état d'azotate et d'azotite, et aussi sous forme gazeuse, ou tout au moins de carbonate ; il en est de même de l'eau des fleuves et des rivières et la proportion qu'on y trouve est bien supérieure à celle que contient l'atmosphère. Il semble, *à priori*, que ce résultat pouvait être prévu, l'air

atmosphérique se dépouillant sans cesse, en faveur de la terre végétale, de tout l'azote ammoniacal qui s'était produit dans son sein. Telles ne sont point, cependant, les conclusions exclusives que nous puissions tirer du phénomène; l'apport que lui octroie constamment l'atmosphére, par le mécanisme dont nous avons parlé, ne représente, pour le sol, qu'une fraction très minime de sa richesse en sels ammoniacaux.

La terre, en effet, possède de puissantes ressources de production d'azote; non seulement elle bénéficie des dépouilles de l'atmosphère, mais toutes les matières azotées dont elle est imprégnée lui abandonnent de l'ammoniaque par leur décomposition lente. D'autre part, et sans faire intervenir le jeu des forces naturelles, une énorme proportion d'azote, soustrait directement à l'atmosphère ainsi que nous allons le voir, s'accumule dans le sol et s'y fixe sous forme de « composés amidés complexes, insolubles, de l'ordre de ceux qui existent dans les êtres vivants ». (Berthelot. Revue scientifique, 1885, p. 644.)

ASSIMILATION DE L'AZOTE A L'ÉTAT LIBRE PAR LA VÉGÉTATION.

On savait depuis longtemps que les terrains cultivés perdaient chaque année, par le fait de l'enlèvement des récoltes, une quantité d'azote supérieure à celle qu'ils avaient reçue par les engrais, sans qu'ils aient perdu pour cela leur vertu productive. Il en est de même du sol des forêts et de celui des prairies, qui,

bien que ne recevant pas d'engrais, subissent régulièrement des pertes d'azote utilisé par l'homme qui recueille le bois des forêts, ou par les animaux qui s'assimilent cet azote en se nourrissant des produits de la végétation.

Ce qui était ignoré, c'était le mécanisme même de cette fixation de l'azote atmosphérique. On avait cru pendant longtemps que l'azote était directement assimilé, à l'état libre, par la végétation. Chacun sait à combien de discussions controversées cette question a donné lieu.

M. Boussingault fut pendant longtemps le défenseur de cette théorie que ce sont les végétaux eux-mêmes qui fixent l'azote atmosphérique, sans se prononcer toutefois sur la façon dont ils s'assimilent cet élément, sans affirmer en un mot que c'est de l'azote à l'état libre qui pénètre ainsi dans le tissu de la plante.

La méthode employée par M. Boussingault consistait essentiellement à stériliser par la calcination un sol qu'il privait ainsi de toute sa matière organique; puis, après avoir procédé à l'analyse d'un certain nombre de graines semblables à celles qu'il devait mettre en expérience, il semait les graines et favorisait leur germination par des arrosages à l'eau distillée exempte d'ammoniaque.

Après avoir laissé la végétation se développer pendant quelque temps, il dosait l'azote contenu dans la plante, puis celui qui restait dans le sol, et connaissait ainsi quelle était la quantité d'azote qu'avait gagnée le végétal.

Dans ses premières expériences, M. Boussingault indiquait que les plantes avaient fixé une quantité assez sensible de matériaux azotés, quantité qui était variable, du reste, suivant l'espèce de graine soumise à l'expérimentation. Ainsi il avait trouvé que le trèfle et les pois avaient retenu une assez forte proportion d'azote, tandis que le froment n'avait rien gagné, en ce sens que l'azote total contenu dans la récolte était sensiblement égal à celui qu'on rencontrait dans la graine.

On ignorait à cette époque quelles étaient les proportions d'ammoniaque que contenait l'atmosphère et l'on pouvait objecter que les quantités d'azote assimilé lorsqu'il y avait eu un gain provenaient des vapeurs ammoniacales de l'atmosphère.

Quelques années plus tard, en 1851, M. Boussingault reprit ses premières recherches, mais, profitant des critiques qui atteignaient ses expériences, il s'entoura de précautions minutieuses, opérant dans des appareils clos, disposés de façon à permettre de faire parvenir à la plante de l'acide carbonique et de l'eau privée d'ammoniaque, tout en s'opposant absolument à la pénétration des vapeurs ammoniacales atmosphériques, et se mettant à l'abri des poussières organiques susceptibles d'engendrer de l'azote.

Dans ces conditions, M. Boussingault s'assura, contrairement à quelques résultats de ses premières expériences, que les végétaux expérimentés, lesquels, d'ailleurs, présentaient toujours des allures languissantes, n'avaient pas fixé d'azote, quelles que fussent

les variétés examinées, semences de haricots, de cresson, de lupin, etc.

La même année un autre expérimentateur, M. G. Ville, répétant les expériences de M. Boussingault, obtint des résultats différents, et crut pouvoir en tirer des conclusions opposées.

Disons de suite que les expériences de M. G. Ville ne sont point toutes comparables à celles de M. Boussingault.

Le savant expérimentateur déclare lui-même que les résultats obtenus par M. Boussingault sont exacts dans les conditions où il s'est placé; mais cessent de l'être quand on veut conclure de ce qui se passe dans un sol stérile, à ce qui a lieu dans un sol déjà amendé avec des matières azotées.

Dans une longue série de recherches, M. Georges Ville s'efforça de démontrer que les plantes sont capables de s'emparer de l'azote atmosphérique et de l'assimiler à l'état libre.

Toutes les plantes, d'après M. G. Ville, ne sont pas aptes à absorber l'azote gazeux de l'atmosphère, il faut pour cela qu'elles aient reçu dans leur premier développement les éléments azotés dont elles ont besoin pour leur accroissement.

Ainsi, si l'on ensemence un sol stérile on n'obtiendra jamais que des végétations chétives ou rabougries où l'on ne pourra, dans aucun cas, constater une fixation d'azote. Mais, bien différents sont les résultats si la même expérience est tentée sur des terrains ayant reçu une quantité suffisante de nitrate de potasse, les

plantes qui naîtront des semences seront toujours vigoureuses et pourront alors assimiler de l'azote atmosphérique.

M. G. Ville reconnaît que les aptitudes de la plante à fixer de l'azote sont bien différentes suivant les espèces; pour lui, il est indispensable, dans tous les cas, que le végétal soit plein de vigueur pour acquérir la propriété d'absorber l'azote libre de l'atmosphère; et puisque les sols stérilisés sont incapables, ainsi que nous l'avons dit, de produire des plantes vigoureuses, nous en concluons, conformément aux idées de M. G. Ville, que les végétaux fixent l'azote atmosphérique lorsque le sol qui les entretient a reçu un engrais convenable.

Nous aurons bientôt à revenir sur l'interprétation que nous croyons pouvoir donner des expériences de M. G. Ville; mais auparavant nous devons un dernier mot aux travaux de M. Boussingault. Le savant chimiste du Conservatoire, après avoir pris connaissance des résultats publiés par M. G. Ville, institua, à nouveau, une longue série d'expériences et d'épreuves, opérant tantôt dans des atmosphères confinées où les plantes recevaient l'acide carbonique pur nécessaire à leur alimentation aérienne; tantôt à l'air libre, les plantes étant seulement soustraites à l'action de la pluie. Il essaya enfin de faire végéter ses plantes dans un sol auquel il avait ajouté du nitrate de potasse.

N'oublions pas d'insister sur ce fait important que toutes les expériences eurent lieu avec des terrains préalablement stérilisés.

Les résultats furent presque toujours les mêmes ; dans toutes les expériences, on constata des pertes sensibles ou des gains atteignant à peine quelques milligrammes, et seulement quand les plantes pouvaient glaner dans l'air les traces d'ammoniaque qui s'y trouvent.

M. Boussingault, après tous ses travaux, qui n'ont pas duré moins de vingt ans, arrive à cette conclusion : *que les plantes n'ont pas le pouvoir d'assimiler l'azote libre de l'atmosphère.*

Revenons à M. G. Ville. Cet auteur, dans un mémoire ayant pour titre : *Sur le rôle des nitrates dans l'économie des plantes* (Ann. de chim. et de physique, t. XLIX, 1857, p. 185), consacre un chapitre spécial intitulé : « *Comment la nature des produits qui se forment pendant la décomposition des fumiers prouve que les plantes absorbent l'azote gazeux de l'atmosphère,* » à l'interprétation, dans un sens favorable à l'hypothèse qu'il a créée, d'une expérience appartenant à M. Boussingault lui-même, et dont voici la description : trois graines de lupin semées dans du sable calciné reçoivent comme engrais six autres graines de lupin semblables, privées de leur faculté germinatrice par leur immersion dans l'eau bouillante. Dans ces conditions, les lupins poussèrent beaucoup mieux que dans le sable calciné pur, la récolte accusa un gain d'azote considérable sur celui de la semence ; cependant, tout compte fait, l'engrais se trouva avoir perdu un peu plus d'azote que les plantes n'en avaient gagné.

Pour M. Boussingault, ce résultat était entière-

ment conforme à ceux qu'il avait constamment obtenus.

S'il était démontré, dit M. G. Ville, que tout l'azote provenant des lupins en voie de décomposition a été émis sous forme d'ammoniaque, la conclusion que M. Boussingault tire de son expérience, à savoir qu'il n'y a pas eu d'azote gazeux absorbé, serait inattaquable; mais les travaux que nous avons entrepris, M. Reiset et moi, sur la décomposition des matières organiques azotées, ont démontré que tout l'azote de ces matières n'était pas transformé en ammoniaque au cours de la putréfaction, une partie de cet azote étant restituée à l'état gazeux à l'atmosphère. Or, dans l'expérience de M. Boussingault, la quantité d'azote dégagée à l'état d'ammoniaque est bien inférieure à celle qui a été fixée par la plante; d'autre part, une partie importante de l'azote contenu dans les lupins servant d'engrais ayant dû se dégager à l'état d'azote libre, nous devons en conclure que de l'azote a été absorbé à l'état gazeux.

Cette question non résolue de la fixation directe de l'azote atmosphérique par les plantes laissait, on le voit, l'esprit bien incertain. Quelques autres expérimentateurs, MM. Lawes, Gilbert et Pugh (1), entre autres, se livrèrent, en Angleterre, pendant plusieurs années, à des essais nombreux pour contrôler les résultats de M. Boussingault et ceux de M. G. Ville. Les études de ces expérimentateurs portèrent principale-

(1) Philosophical transactions, part. II, 1861.

ment sur les légumineuses et les graminées. Les conclusions qu'ils crurent devoir tirer de toutes leurs expériences sont identiques à celles que M. Boussingault avait déduites des siennes, c'est-à-dire que les végétaux ne sont pas susceptibles d'absorber directement l'azote gazeux de l'atmosphère.

Ajoutons que, plus récemment, M. Raulin a été amené, par des résultats semblables, à des conclusions en tout conformes à celles de MM. Boussingault, Lawes, Gilbert et Pugh, en étudiant les champignons du groupe des moisissures.

Il paraît très difficile, en présence d'expériences aussi contradictoires, de se prononcer en faveur d'une théorie et de rejeter celles que l'on ne veut pas adopter. Notons, cependant, deux faits bien établis, qui se dégagent des travaux de tous les auteurs que nous avons cités : 1° un excès incontestable d'azote existe dans les récoltes d'un sol cultivé, sur la quantité d'azote introduite comme engrais ; 2° les plantes qui végètent sur un sol préalablement stérilisé, et qui ne reçoivent aucun engrais, ne fixent pas d'azote.

De récentes découvertes, dues à M. Berthelot, jettent sur cette question une lumière aussi nouvelle qu'inattendue. Le savant professeur du Collège de France avait déjà signalé, il y a quelques années, une cause inconnue de fixation directe de l'azote libre sur les principes immédiats des végétaux. Cette fixation est due, dit M. Berthelot, « à l'électricité atmosphérique, agissant non plus accidentellement par ces décharges subites et ces étincelles violentes qui forment

l'acide azotique et l'azotite d'ammonium pendant les orages, mais engendrant peu à peu des composés azotés complexes, par une action inductive lente, continue, en vertu des faibles tensions qui existent en tout temps, en tout lieu, à la surface du globe. »

M. Berthelot, dans ses premières expériences, s'était d'abord servi de fortes effluves pour obtenir la fixation de l'azote sur des hydrates de carbone tels que la dextrine et la cellulose. Des recherches semblables exécutées par MM. Dehérain et Maquenne rendaient vraisemblable que lorsque les effluves présentent quelque énergie, cette fixation se fait à l'état d'acide azotique ou d'ammoniaque ; en effet, la vapeur d'eau est facilement dissociée sous l'influence des effluves, et, quand on agit en présence de l'azote, forme de l'ammoniaque qui peut s'unir à la matière organique pour fournir un composé amidé ; quand, au contraire, l'effluve traverse l'air, il se forme aisément de l'acide azotique.

M. Berthelot ne s'est pas contenté d'observer cette fixation d'azote sur des matières carbonées en modifiant le gaz en expérience à l'aide de fortes effluves, il a construit un appareil qui lui a permis de montrer que la fixation de l'azote par la matière organique avait encore lieu sous l'influence de l'électricité atmosphérique (1) : voici, en effet, les expressions mêmes de M. Berthelot :

(1) Berthelot. Mécanique chimique, t. II, p. 316, et Dehérain et Maquenne. Comptes rendus, t. XCIII, p. 1023.

« Dans tous les tubes, sans exception, qu'ils continssent de l'azote pur ou de l'air ordinaire, qu'ils fussent clos hermétiquement ou en libre communication avec l'atmosphère, l'azote s'est fixé sur la matière organique (papier ou dextrine) en formant un composé amidé, que la chaux sodée décompose vers 300° ou 400° avec régénération d'ammoniaque. »

C'est en cherchant à approfondir l'étude de cette importante réaction que M. Berthelot a été conduit à découvrir que l'azote de l'air était fixé directement par les sols argileux, et que cette fixation était l'œuvre des organismes microscopiques qu'ils renferment.

Les expériences de M. Berthelot ont été exécutées dans la station de chimie végétale de Meudon (2) et poursuivies, pendant deux ans, sur quatre terrains argileux différents. Elles constituent cinq séries distinctes, mais simultanées, comprenant plus de 500 analyses, à savoir :

Simple conservation dans une chambre close.

Séjour dans une prairie, sous abri.

Séjour en haut d'une tour de 28 mètres, sans abri.

Séjour dans des flacons hermétiquement clos.

Enfin stérilisation.

Après avoir très exactement décrit dans l'ordre que nous venons d'indiquer tous ses travaux, dont le dé-

(1) Berthelot. Mécanique chimique, t. II, p. 316, et Dehérain et Maquenne, comptes rendus, t. XCIII, p. 1023.

tail nous entraînerait trop loin, M. Berthelot ajoute : « En résumé, les terrains argileux étudiés, sables et kaolins, possèdent la propriété de fixer lentement l'azote atmosphérique libre. Cette aptitude est indépendante de la nitrification, aussi bien que de la condensation de l'ammoniaque. Elle est attribuable à l'action de certains organismes vivants. Elle n'est pas manifeste en hiver, mais elle s'exerce surtout pendant la saison d'activité de la végétation. Une température de 100° l'anéantit. Elle s'exerce aussi bien en vase clos qu'au contact de l'atmosphère, aussi bien à l'air complètement libre, au sommet d'une tour, que sous un abri au voisinage du sol couvert de végétation, ou dans une chambre close, à l'intérieur d'un bâtiment. Elle a lieu dans l'obscurité, comme à la lumière, quoique plus activement dans le second cas. »

Combien ne devient-il pas facile, maintenant que nous sommes en possession d'une découverte aussi brillante et aussi féconde, de comprendre pourquoi M. Boussingault en stérilisant, par la calcination, les terrains sur lesquels il expérimentait, n'est jamais parvenu à trouver, dans ses récoltes, une quantité d'azote en augmentation sur celui que contenaient les semences. N'en est-il pas de même pour les expériences de M. G. Ville. Si cet expérimentateur avait besoin, pour assurer le succès de sa cause, d'une végétation vigoureuse obtenue en donnant à la plante un engrais approprié, ne devient-il pas évident que, par cette manœuvre, il ensemençait à son insu le sol

en micro-organismes, lesquels, apportés par l'engrais, fixaient l'azote atmosphérique qu'ils avaient pour mission de métamorphoser en produits amidés, comme nous l'apprend M. Berthelot, et que le végétal s'assimilait alors pour son plus grand profit.

Nous avons dit que lorsque les matières organiques azotées se décomposent, à la surface du globe, une fraction de leur azote se dégage toujours à l'état libre et fait ainsi retour à l'atmosphère ; le reste de l'azote, transformé en partie en ammoniaque, passe, après diverses métamorphoses, à l'état de nitrites et enfin de nitrates.

La transformation de l'ammoniaque en nitrites et en nitrates dans les eaux, la terre arable, ou dans les nitrières artificielles, est due, personne ne l'ignore, à l'action oxydante d'un micrococcus punctiforme, essentiellement aérobie, le *vibrio nitrique*, découvert par MM. Schlœsing et Müntz qui l'ont isolé et reproduit par la culture.

La découverte de ces savants a fait disparaître ce que présentait encore, jusqu'à ces derniers temps, de mystérieux et d'obscur le phénomène de la formation naturelle du salpêtre.

Nous ne décrirons pas les nombreuses théories mises en avant pour l'expliquer. L'intervention des micro-organismes, comme agent déterminant exclusif de l'oxydation de l'ammoniaque, est aujourd'hui universellement admise.

Cette transformation en nitrate devient, grâce à la solubilité de ces sels, une des causes de déperdition,

au profit de l'atmosphère ou de l'Océan, d'une fraction importante des quantités d'azote combiné qui existent à la surface du sol. La terre arrable ne pouvant les retenir, ils sont peu à peu entraînés par les eaux telluriques qui les conduisent à la mer.

On doit à M. Schlœsing une étude très complète sur le régime de l'ammoniaque dans l'air et une théorie ingénieuse de la circulation de ce composé entre l'air, les mers et le sol végétal.

« Ce chimiste a remarqué que les eaux de rivière renferment des quantités relativement grandes de nitrates et très faibles d'ammoniaque. L'eau de la mer, au contraire, contient une quantité d'ammoniaque supérieure à la quantité de nitrate. Il a trouvé dans cette dernière 0 milligr. 2 à 0 milligr. 3 d'acide nitrique par litre et 0 milligr. 4 à 0 milligr. 5 d'ammoniaque.

M. Sckloesing pense que l'ammoniaque qui est amenée à la surface du sol par les pluies, aussi bien que celle qui s'y forme incessamment par la décomposition des matières animales,est pour la plus grande part oxydée et transformée en acide nitrique. Les nitrates ainsi pruduits sont, en partie, absorbés par les végétaux et contribuent à leur développement, et en partie entraînés par les eaux de la mer. Ces nitrates ne s'accumulent pas dans l'Océan, puisque l'analyse n'en indique que des traces; ils sont sans doute utilisés à la végétation des plantes marines. Mais tandis que la décomposition des êtres organisés est, sur les continents, une source abondante de nitre, elle de-

viendrait, lorsqu'elle se produit dans la mer, une source d'ammoniaque, composé éminemment diffusible, qui se répandrait dans l'atmosphère.

Dans cette hypothèse, il existerait donc une circulation continue d'acide azotique et d'ammoniaque à la surface du globe ; l'acide azotique produit sur les continents serait entraîné continuellement vers la mer ; l'ammoniaque formée au sein des mers, puis passant dans l'atmosphère se trouverait ramenée par les vents sur les continents. L'Océan serait ainsi un immense réservoir d'ammoniaque, car, en supposant à ses eaux un titre de 0 milligr. 4 de cet alcali, on trouve, suivant M. Schlœsing, qu'à chaque hectare de sa surface correspondrait une provision de 4,000 kilogr. d'ammoniaque. » (*Encyclopédie chimique, air atmosph.*, p. 113.)

ABSORPTION DE L'AMMONIAQUE GAZEUSE PAR LES FEUILLES

L'oxygène, l'acide carbonique et la vapeur d'eau sont assurément les gaz susceptibles d'exercer sur la végétation l'action la plus utile et la plus nécessaire. Nous venons de voir que malgré que l'azote de l'atmosphère ait libre accès auprès de la plante et que ce gaz remplisse les espaces intercellulaires et se diffuse à travers les sucs de toutes les cellules, son rôle est purement inerte. En sera-t-il de même du gaz ammoniac, et doit-on comprendre au nombre des divers modes d'absorption et de fixation de l'azote l'absorption par les feuilles de l'ammoniaque à l'état gazeux.

Plusieurs expérimentateurs ont essayé de résoudre ce problème ; nous citerons, entre autres, MM. G. Ville, Sacchs, et plus récemment, MM. Schlœsing et Mayer. Le premier de ces savants avait fait connaître, il y a déjà longtemps, que les plantes maintenues dans une serre où l'on répandait de faibles quantités de carbonate d'ammoniaque s'y étaient développées plus vigoureusement que celles qui n'avaient pas rencontré d'ammoniaque dans l'atmosphère où elles étalaient leurs feuilles. Des observations semblables furent faites un peu plus tard, par M. Sacchs, qui avait reconnu que des plants de haricots maintenus sous une cloche où s'exhalaient des vapeurs ammoniacales avaient acquis un plus grand développement que ceux qui séjournaient dans une atmosphère normale. On trouva, à l'analyse, qu'ils s'étaient enrichis en azote combiné.

Cette intéressante question reprise par M. Schlœsing fut l'objet, de la part de l'éminent expérimentateur, de plusieurs expériences qui toutes étaient de nature à confirmer celles qui étaient déjà connues : des plantes appartenant au genre *nicotiana tabacum* étaient maintenues sous des cloches que traversait un courant d'air, renfermant environ 1 centième d'acide carbonique et de très faibles quantités de carbonate d'ammoniaque. Ce sel, qui se diffusait lentement dans l'air de la cloche, était placé dans un vase sous forme de soluté aqueux très étendu. (Il était indispensable d'opérer aussi prudemment, une dose un peu forte de carbonate d'ammoniaque aurait infailliblement causé la mort des végétaux mis en expérience).

Non seulement M. Schlœsing constata que l'azote était en grand excès chez les plantes qui avaient été soumises à l'influence du carbonate d'ammoniaque, mais il fit connaître en même temps un fait des plus intéressants, c'est que cet azote ne s'y trouvait ni à l'état d'ammoniaque, ni à celui d'acide azotique, ni même à l'état de nicotine, mais sous forme de principes albuminoïdes.

Des faits entièrement favorables à la possibilité de l'absorption et de l'assimilation du gaz ammoniac par les organes aériens des végétaux ont été publiés, en dernier lieu, par un physiologiste d'Heidelberg, M. Mayer. Cependant, il ne faut point se méprendre sur le peu d'importance qu'il convient d'attribuer au caractère de tous ces résultats. S'il est vrai, comme nous l'enseignent les habiles opérateurs dont nous venons de décrire les travaux, que les végétaux placés dans une atmosphère, en quelque sorte artificielle, absorbent et s'assimilent le gaz ammoniac ; ce phénomène ne présentera jamais qu'un intérêt médiocre, à cause des faibles proportions d'ammoniaque qui sont distribuées dans l'atmosphère, ce qui fait considérer comme nulle l'influence qu'il pourrait exercer sur la végétation.

ASSIMILATION DE L'AZOTE, DES AZOTATES ET DES SELS AMMONIACAUX.

On connaît l'influence puissante de l'azotate de potassium sur la végétation, et le commerce énorme

qui se fait actuellement de l'azotate de soude du Pérou témoigne bien de son utilité comme engrais. On sait d'ailleurs que, dans certaines régions renommées pour leur fertilité, telles que : l'Inde et l'Égypte, le sol est imprégné d'azotates, lesquels, ramenés à la surface par l'action de la capillarité, viennent s'y effleurer. Nous avons dit dans quelles conditions ces azotates prenaient naissance par suite de la fermentation de l'ammoniaque, autrement dit de son oxydation.

Tous les végétaux paraissent contenir de l'azotate de potasse en plus ou moins grande quantité; les propriétés diurétiques attribuées à plusieurs végétaux que la médecine utilise doivent leur réputation à la proportion élevée de nitrates qu'ils contiennent. Ce sel s'accumule parfois dans les tissus de certains végétaux en quantité si considérable qu'il peut même en résulter de graves dangers pour les animaux qui font de ces plantes leur nourriture habituelle. C'est surtout à la suite de fumures intenses que se produisent ces résultats, l'ammoniaque de l'engrais se transformant dans le sol en acide azotique.

Au commencement de ce siècle, on n'accordait guère qu'à l'ammoniaque la propriété de fournir aux végétaux l'azote nécessaire à la constitution de leurs tissus, et le rôle important que remplit le nitrate de potasse n'est réellement bien connu que depuis les travaux de quelques savants français, MM. Boussingault, G. Ville, S. Cloez.

Une des expériences de M. Boussingault est tellement évidente, qu'on voit en quelque sorte le poids de

la matière végétale formée être proportionnée à la quantité de nitrate qui a pénétré dans la plante : des hélianthus ayant été semés dans un sol stérile et arrosés avec de l'eau exempte d'ammoniaque, fournirent des résultats absolument concluants.

Dans une autre expérience, M. Boussingault fit intervenir dans la végétation des hélianthus, encore semés dans un sol stérile, non seulement un nitrate, mais en outre les matières minérales nécessaires au développement normal des végétaux. Si on ne voit pas croître la récolte en raison du nitrate employé, comme dans l'expérience précédente, le poids de matière organique formée augmente dans une si forte proportion quant aux éléments minéraux fournis s'ajoute l'acide azotique, que l'efficacité de cette forme de matière azotée devient évidente.

Un chimiste agronome éminent, M. Hukhmann, avait émis l'opinion que les azotates, qui se réduisent si facilement sous l'influence de l'hydrogène naissant, sont transformés en ammoniaque dans la terre arable, par l'action réductrice des matières organiques. Rien ne s'oppose à ce que les nitrates soient, avant leur absorption, transformés en sels amoniacaux, mais remarquons que si cette réduction a lieu parfois, elle n'est toutefois pas indispensable pour que l'azote des nitrates soit assimilé, et les expériences entreprises dans ses dernières années par M. Boussingault, et dont nous venons de parler, démontrent bien que les nitrates peuvent être absorbés directement.

Mais, si l'acide azotique n'est pas réduit dans le sol,

s'il peut pénétrer, à l'état d'azotate alcalin, dans l'économie végétale, il doit nécessairement y subir une réduction ; car ce n'est pas à l'état de composé oxygéné qu'il peut concourir à l'élaboration des matières azotées.

L'absorption de l'azote par les plantes, sous forme de sels ammoniacaux, autres que les nitrates, et l'efficacité de ceux-ci, comme engrais, ne paraissent pas être aussi solidement établis.

Il n'est pas sans intérêt de rappeler ici que, bien avant que l'on connut le rôle des nitrates en agriculture, c'est aux sels ammoniacaux, ou plus exactement à l'ammoniaque qu'était attribuée la propriété de faire pénétrer dans le tissu des végétaux l'azote nécssaire à leur nutrition. « Il n'y a donc, dit Liebig, aucune raison pour attribuer l'augmentation de l'azote dans les graines, les feuilles et les tiges à une autre source que l'ammoniaque » (1).

Une expérience bien connue de sir H. Davy, toute favorable à cette manière de voir, est demeurée classique; les émanations gazeuses d'une masse de fumier, dirigées sous les racines d'un gazon, en favorisèrent singulièrement la végétation.

Toutefois, en 1843, M. Bouchardat communiqua à l'Académie des sciences un *Mémoire sur l'influence des composés ammoniacaux sur la végétation*, et il était conduit aux conclusions suivantes :

1° Les dissolutions des sels ammoniacux commu-

(1) Chimie appliquée à l'agriculture, 1844, p. 312.

nément employés ne fournissent pas aux végétaux l'azote qu'ils s'assimilent.

2° Lorsque ces dissolutions à 1 millième sont absorbées par les racines de plantes, elles agissent comme des poisons énergiques.

Ces propriétés toxiques attribuées aux sels ammoniacaux par M. Bouchardat, le sont aussi par M. Cloez qui cite que, dans ses expériences sur les plantes submergées, il les a toujours vues périr lorsqu'elles recevaient des dissolutions de sels ammoniacaux à la dose de 0,0001.

Sans adopter, en ce qui concerne l'action nocive des sels ammoniacaux sur l'organisme des plantes, l'opinion professée par MM. Bouchardat et Cloez, quelques agronomes de nos jours pensent que la seule source d'azote des plantes est l'acide azotique, et que l'ammoniaque, dont on ne saurait contester l'influence comme engrais, n'est assimilée qu'après avoir été transformée dans le sol en acide azotique.

Ces faits sont en désaccord avec l'opinion commune qui reconnaît l'efficacité des sels ammoniacaux dans la végétation; on peut rappeler les expériences de M. Kuhlmann, de M. T. Pierre, de MM. T. Laws et Gilbert, qui ont tous reconnu l'influence favorable des sels ammoniacaux. Il est vrai que ces sels ont été placés dans la terre arable et, par suite, dans des circonstances où il se produit constamment des nitrates; mais il paraît difficile d'admettre que la transformation soit complète. Au reste, M. G. Ville a fait quelques cultures dans du sable calciné où les plantes

étaient amendées par du nitre, du sel ammoniac, du phosphate d'ammoniaque, du nitrate d'ammoniaque ; et bien que les cultures au nitrate de potasse aient donné les résultats les plus favorables, on a obtenu dans les sols amendés avec des sels ammoniacaux, des plantes pesant quatre à cinq fois la semence, et il est bien difficile d'admettre que dans ces circonstances les sels ammoniacaux ont été intégralement transformés en nitrates. *Ann. de chim. et de phys.*, 1857, t XLIZ, p. 185.)

Dans les expériences exécutées au Muséum, dans une terre artificielle, les betteraves qui n'ont reçu que de l'eau ont pesé 111 grammes, tandis qu'elles ont présenté une poids de 1,552 grammes quand elles ont reçu du superphosphate de chaux, du chlorure de potassium et du sulfate d'ammoniaque ; or il est peu probable que dans ces conditions la transformation en nitrates ait pu avoir lieu, puisque vraisemblablement dans ces terres artificielles le ferment nitrique faisait défaut. (Dehérain, *Encycl. chim.* p. 6, t. IX.)

On sait, d'ailleurs, que les végétaux ne prospèrent pas dans un sol complètement privé de sels ammoniacaux, et que, d'autre part, la présence de l'ammoniaque toute formée peut-être mise en évidence dans le tissu des plantes ayant reçu, comme engrais, des sels ammoniacaux, ce qui semble constituer un argument solide en faveur de l'assimilation directe de ce composé.

Quoi qu'il en soit, il ne paraît pas douteux que les sels ammoniacaux puissent concurremment avec les

nitrates être utilisés à la nutrition des plantes; mais on reconnaît, en général, qu'à égalité dans le poids d'azote, ils exercent une action moins favorable.

ASSIMILATION DE L'AZOTE SOUS DES FORMES AUTRES QUE LES NITRATES ET LES SELS AMMONIACAUX.

Il nous reste à examiner maintenant si l'acide azotique et l'ammoniaque sont les seules sources de l'azote pour les plantes, ou si ce dernier élément peut encore pénétrer dans l'organisme des végétaux sous forme de matière azotée complexe, matière noire connue sous le nom de composés *ulmiques*.

Cette dernière hypothèse compte à son actif un assez grand nombre de faits. On sait qu'au commencement de ce siècle, Th. de Saussure pensait que les plantes pouvaient absorber les principes solubles du terreau », et il écrivait dans ses recherches chimiques sur la végétation : « Si l'azote est un être simple, s'il n'est pas un élément de l'eau, on doit être forcé de reconnaître que les plantes ne se l'assimilent que dans les extraits végétaux et animaux, et dans les vapeurs ammoniacales ou d'autres composés solubles dans l'eau qu'elles peuvent absorber dans le sol et dans l'atmosphère. »

On conçoit toutefois combien il est difficile d'affirmer que c'est l'extrait même de terreau que les plantes absorbent : non pas que nous pensions que les racines soient capables de repousser les substances solubles avec lesquelles elles sont en contact, mais parce que

cet extrait de terreau est formé de substances complexes qui se transforment avec une grande facilité en produits plus simples, tels que les nitrates et les sels ammoniacaux.

M. Paul Thénard a reconnu, il est vrai, que les fumates insolubles répandus dans le sol arable se transforment en perfumates solubles, et on comprendrait que ces fumates devinssent une source d'azote pour les plantes, si le même chimiste éminent n'avait reconnu de plus que ces perfumates passaient bientôt, sous l'influence oxydante du peroxyde de fer (1), à l'état de nitrates, et c'est peut-être plutôt sous cette forme que sous celle de sels à acide organique azoté que sont absorbés les principes azotés des fumiers. (Comptes rendus, t. XLVIII, p. 722, et Dict. de chim. de Vurtz, t. I, p. 440.)

L'influence heureuse qu'exerce le fumier de ferme sur certaines cultures a été bien mise en lumière par un grand nombre d'expérimentateurs. Tous les cultivateurs savent qu'il suffit d'ajouter à un sol épuisé des fumures convenables pout qu'il reprenne sa fécondité première. Cependant, on ne saurait se refuser à admettre que tous les végétaux ont une aptitude spéciale à opérer une sélection des principes nutritifs dont ils ont besoin aussi bien des éléments organiques que des éléments d'origine minérale. On comprend dès lors que les essais tentés sur des espèces végétales différentes conduisent le plus souvent à des résultats qui ne soient point comparables.

(1) Ou d'une façon plus vraisemblable, par le fait des microorganismes.

Ainsi nous voyons que l'emploi des engrais azotés, sels ammoniacaux ou nitrates, diminue la quantité des légumineuses en favorisant au contraire la croissance des graminées; ces faits ont été bien établis, il y a quelques années, par MM. Lawes et Gilbert (1).

Si les expériences sont instituées en faisant usage du fumier de ferme au lieu d'engrais artificiels, on est conduit à des conclusions absolument semblables; cette fumure n'exerce sur les légumineuses aucune action favorable, tandis que le développement des graminées en recevra une heureuse impulsion. Toutefois, si les légumineuses sont cultivées sur un terrain dont les fumures sont déjà anciennes, elles croîtront avec vigueur et deviendront également très prospères.

Les conclusions qui paraissent découler de ces deux séries d'expérience sont : 1° que les sels azotés ne sont pas l'aliment de prédilection des légumineuses; 2° que les matières organiques des fumiers ne sont aptes à être assimilées par ces végétaux qu'après avoir subi une modification particulière, laquelle paraît être influencée par la nature du sol qui a reçu l'engrais, et surtout par l'ancienneté de la fumure.

Il paraît donc probable, bien que cela ne soit pas encore démontré d'une facon complète, que certaines espèces végétales prennent leur azote sous forme de matière organique complexe.

Des expériences déjà anciennes dues à M. G. Ville,

(1) Ann. agron. t. VI, p. 608.

viennent, au reste, appuyer dans une certaine mesure cette manière de voir. Le savant professeur du Muséum a soumis des plantes à l'action d'un certain nombre de matières azotées bien définies, de façon à pouvoir comparer l'action de chacune d'elles, et les récoltes ont été assez différentes. On peut expliquer ce résultat, ou bien en admettant que les matières azotées solubles absorbées en nature sont décomposees plus ou moins facilement par les plantes, et, par suite, peuvent servir à des degrés différents à constituer des principes immédiats, ou bien elles montrent que ces composés sont amenés plus ou moins lentement à la forme umique sous laquelle, suivant certains chimistes, l'azote pénètre dans les plantes.

Est-il nécessaire, en terminant ce chapitre, de parler de la formation hypothétique de combinaisons organiques azotées qui se produiraient d'une façon régulière par la fixation de l'azote atmosphérique sur les matières organiques de la terre arable? Nous ne le pensons pas; elle est des moins probables : c'est toujours sous forme d'acide azotique ou d'ammoniaque que se fixe l'azote sur les matières organiques dans les expériences de laboratoire. Du reste, à l'appui de cette interprétation, nous rappellerons les remarquables expériences de synthèse de M. P. Thénard, dans lesquelles il est arrivé à fixer de l'azote sur la cellulose, de façon à reproduire quelques-unes de ces matières noires qui existent dans les fumiers; c'est avec l'ammoniaque qu'ont été exécutées toutes ces belles

synthèses qui n'auraient certainement jamais été créées si le point de départ avait été l'azote.

En résumé, de toutes les considérations que nous venons d'exposer découle avec certitude que les végétaux n'empruntent directement à l'atmosphère ni ammoniaque, ni azote, et que la totalité de l'azote qu'ils se sont assimilé n'a pas d'autre source que le sol.

Nous allons voir, dans le chapitre qui suit, quelles sont les conditions qui président à l'élaboration de la matière azotée par le règne végétal pour devenir de la matière vivante.

CHAPITRE II

TRANSFORMATION DES MATÉRIAUX AZOTÉS CHEZ LES VÉGÉTAUX.

Les formes fondamentales sous lesquelles l'azote devient accessible au végétal se réduisent à trois : les nitrates, les sels ammoniacaux et les composés umiques. Nous avons vu que c'est du sol inanimé exclusivement qu'il retire toutes ces substances azotées nécessaires à la réparation de ses tissus.

Le travail de mouvement et de transformation de ces matériaux, occupe, dans l'activité vitale des plantes, une place beaucoup plus grande que dans celle des animaux. Ceux-ci utilisent pour leur alimentation des substances qui ont déjà vécu et qui n'exigent, par suite, qu'un moindre travail chimique pour être assimilées.

L'eau, l'acide carbonique, quelques sels minéraux, tels sont, avec l'azote ammoniacal, les composés à l'aide desquels le végétal crée les matières hydrocarbonées et les substances albuminoïdes dont il a besoin. Il accomplit ainsi uu acte chimique très com

plexe dont le mécanisme nous est inconnu, et le problème du fonctionnement de ces synthèses organisatrices est encore bien loin d'être résolu.

Nous ferons remarquer, cependant, un fait capital qui nous a toujours frappé : c'est que ce n'est jamais à l'état élémentaire que peuvent être absorbés les corps nécessaires à l'édification de la plante.

Si les animaux ont besoin pour vivre de consommer sans cesse les matières organiques qu'ils trouvent toutes formées dans les plantes ; il semble aussi que l'organisme végétal, par contre, n'emprunte au règne minéral que des corps composés, c'est-à-dire ceux qui ont emmagasiné de la chaleur ou de la force par le fait d'une combinaison chimique. Seul l'oxygène paraît faire exception, et se soustraire à cette loi ; l'animal aussi bien que la plante a besoin d'oxygène pour vivre, et c'est de l'oxygène libre qu'il leur faut. Mais, le rôle qu'il joue dans la nature ne saurait être comparé à celui des autres éléments, et bien différentes sont les conditions de son assimilation. Fixé directement par l'hémoglobine chez l'animal, par la molécule de chlorophylle chez le végétal, il n'a besoin pour remplir un rôle utile d'aucune élaboration préalable. Comburant par excellence, grâce à l'affinité énergique dont il est doué, il pénètre jusque dans l'intimité des tissus, réveillant l'activité cellulaire et distribuant partout son concours bienfaisant.

Pour étudier et bien comprendre les phases évolutives que doit parcourir l'azote dans l'organisme végétal, il devient indispensable d'avoir quelques notions

élémentaires sur la structure et le fonctionnement de cet organisme lui-même.

On sait que tout être vivant, aussi bien l'animal que la plante, peut être considéré comme un édifice résultant de l'association de cellules organisées, plus ou moins modifiées et groupées en tissus, organes, appareils, etc... Depuis l'être cellule jusqu'à l'homme, on rencontre tous les degrés de complication dans ces groupements cellulaires.

C'est dans la cellule organique que se trouve localisée la vie élémentaire de la plante. Cet élément anatomique, substratum fondamental de toute organisation animale ou végétale renferme la matière vivante proprement dite que nous avons décrite sous le nom de *protoplasma*.

Toute cellule complète se compose, à la périphérie, d'une couche homogène, solide et élastique, fermée de toutes parts : *la membrane enveloppe* ou *membrane cellulaire* (1). Au centre, un corps sphérique ou ovale, sorte de masse limitée, incluse dans le protoplasma : le *noyau*, renfermant souvent en son centre, un granule appelé nucléole. Enfin une matière molle et non élastique, ordinairement granuleuse remplit toute la cavité libre de la cellule, de la membrane ou noyau : c'est le protoplasma lui-même.

Chacune des cellules du végétal est une individualité propre, indépendante et armée, pour ainsi dire, de toutes sortes de forces.

(1) Elle est entièrement formée de cellulose $(C^6H^{10}O^5)\ n$.

A son état le plus rudimentaire, mais qui n'est, en général, que transitoire, la cellule peut être constituée uniquement par un amas de substance protoplasmique sans noyau ni enveloppe d'aucune sorte.

Ce protoplasma, type de la substance organisée vivante, n'est pas un corps homogène, mais un mélange de diverses matières albuminoïdes avec de l'eau et une petite quantité de matières minérales. En voie de transformation et de rénovation continuelles, le protoplasma ne saurait avoir une composition toujours identique, grâce aux phénomènes d'assimilation et de désassimilation dont il est le siège. Il préside à la formation des principes immédiats les plus divers, dont les uns sont des substances hydro-carbonées, et les autres des corps quaternaires. Ces derniers, fort complexes, appartiennent au groupe des substances protéïques. D'autres sont ce que l'on a appelé des ferments solubles; d'autres enfin sont des corps amidés, tels que l'asparagine, la glutamine, etc., ou des substances alcaloïdiques, telles que la quinine, la morphine, etc., etc. Aussi le protoplasma offre-t-il toujours les réactions générales des composés albuminoïdes; lorsqu'on le chauffe avec un alcali fixe il dégage de l'ammoniaque, il est coagulable par la chaleur, etc.

La grande majorité des plantes développent de la chlorophylle dans certaines de leurs cellules, et c'est encore au sein du protoplasma fondamental, et à l'état amorphe qu'apparaît cette matière azotée dont l'importance est si considérable.

Une des propriétés fondamentales de l'enveloppe cellulaire, c'est la perméabilité : ce qui permet au protoplasma, qui jouit de propriétés endosmotiques et exosmotiques énergiques à l'égard de l'eau et des substances qu'elle tient en dissolution, d'exercer toute son activité, une des conditions importantes et nécessaires de son accroissement.

Dans le cours de son développement, le protoplasma se creuse de cavités inégalement distribuées qui sont aussitôt envahies par le *suc cellulaire*. Ce liquide est l'agent général de la dissolution et du transport des matières nutritives à l'intérieur de la cellule. L'eau qu'il renferme entre souvent dans la formule de constitution des substances produites par la plante, et la réaction acide qu'il présente lui permet de dissoudre des substances que n'aurait pas solubilisées l'eau pure. Les substances venues du dedans et produites par l'activité chimique du protoplasma sont entraînées également par le suc cellulaire et distribuées par lui.

Aussi voyons-nous la cellule être le siège d'échanges très actifs avec le milieu ambiant; elle respire, se nourrit et se transforme sans cesse, et cette rénovation constante est une des conditions de sa vitalité.

Elle fabrique enfin, en opérant une sélection sur les principes que lui apporte le suc cellulaire, des composés organiques variés, lesquels deviendront pour le végétal des réserves nutritives ou même des produits de défense, sur la nature desquels nous nous expliquerons bientôt.

Si la composition du protoplasma ne peut être dé-

terminée, à cause des échanges et des transformations dont il est le promoteur, il n'en est pas de même de la chlorophylle; ce corps a été obtenu à l'état cristallisé par M. A. Gautier (1) qui en a déterminé la composition élémentaire et donné la formule (C^{36} H^{30} AzO^{4}).

Cette substance azotée, la chlorophylle, est, comme chacun sait, l'agent d'une foule de synthèses, de produits hydro-carbonés, lesquels créés, pendant le jour, sous l'action des rayons solaires, sont utilisés comme matériaux de construction par toutes les parties inco lores de la plante.

M. le professeur Gautier (2) a émis, relativement au rôle de la chlorophylle dans la végétation, une ingénieuse hypothèse en harmonie parfaite avec le petit nombre des faits connus.

La série d'actes, dit M. Gautier, « par lesquels la cellule fabrique de toutes pièces la substance organique dont elle vivra ou fera vivre d'autres parties du végétal, constitue une fonction tout à fait propre aux parties vertes des plantes. L'organe de cette fonction est la granulation chlorophyllienne et la force matérielle que met en jeu cet instrument compliqué pour décomposer l'eau et l'acide carbonique réside dans les vibrations lumineuses. »

Il faudrait distinguer, d'après M. Gautier, deux

(1) Bulletin de la Société chimique, 20 juillet 1877.

(2) A. Gautier. La chimie des plantes (in Revue scientifique, 1877, p. 765.

états de la chlorophylle : la *chlorophylle verte*, la *chlorophylle blanche*. Ces deux variétés de pigments seraient les analogues de l'indigo bleu et de l'indigo blanc.

La chlorophylle blanche serait un corps réducteur énergique susceptible de se transformer en chlorophylle verte sous l'action de l'oxygène. La chlorophylle verte aurait la propriété de décomposer l'eau, sous l'influence des rayons solaires, comme elle a la propriété de décomposer l'acide carbonique. Elle deviendrait chlorophylle blanche en prenant l'hydrogène et mettant l'oxygène en liberté. La chlorophylle blanche céderait à l'acide carbonique son hydrogène, elle travaillerait ainsi à la synthèse de composés carbonés, et repasserait à l'état de chlorophylle verte.

Tous les composés hydrocarbonés, par exemple, peuvent dériver de l'union de l'acide carbonique et de l'eau avec pertes variables d'hydrogène ou d'oxygène; c'est ainsi que de la réduction de $2\,CO^2 + (2 \pm 1)\,H^2O$ vont pouvoir dériver : l'alcool, le glycol, l'aldéhyde ordinaire, les acides glycolique et glyoxylique, le glyoxal, l'acide oxalique, etc., etc.

De l'association de $3\,CO^2$ à $(3 - 1)\,CO^2$ et $(3 - 1)\,CO^2$ avec perte variable d'oxygène peuvent naître un grand nombre de matières organiques importantes dont plusieurs ont été rencontrées dans le suc cellulaire ; tels sont : les alcools propylique, allylique, le glycol propylique, la glycérine, les homologues de l'érythrite et de la mannite, les acides propionique, acrylique, lactique, pyruvique, tartrique, les homologues des acides

tartrique et quinique, etc. (A. Gautier). En un mot, tous les corps organiques ternaires pourraient se former par ce simple mécanisme de la désoxydation par le grain de chlorophylle, plus ou moins profonde suivant l'influence des rayons lumineux, des diverses associations d'eau et d'acide carbonique que le protoplasma laisse pénétrer jusqu'à l'organe de réduction. »

Ainsi, dans les plantes incolores s'accompliraient les phénomènes exactement inverses de ceux qui se produisent dans les parties vertes.

Telle est, dans son ensemble, l'élégante conception de M. Gautier dont nous regrettons de n'avoir pu donner qu'un très sommaire résumé.

Étudions maintenant ce qui se passe dans l'organisme d'un grand nombre de végétaux dans les cellules desquels les granulations de chlorophylle n'ont jamais apparu.

Ce protoplasma incolore, que n'a pas excité la radiation solaire, sera-t-il capable néanmoins de remplir un rôle utilitaire dans cette grande scène organique?

Une brillante expérience, due à M. Pasteur, se charge de nous démontrer que ce protoplasma saura produire toutes les substances qui existent dans les animaux et les plantes, mais avec d'autres éléments comme point de départ, et avec une autre force vive comme agent que celle du protoplasma vert.

M. Pasteur (1) constitue un champ de culture ainsi composé :

(1) Comptes rendus, 10 avril 1876.

Alcool ou acide acétique pur;
Ammoniaque (d'un sel cristallisable pur);
Acide phosphorique;
Potasse;
Magnésie;
Eau pure;
Oxygène gazeux.

Dans ce milieu, dont les constituants sont entièrement empruntés au règne minéral, c'est-à-dire dont la synthèse chimique a été réalisée à l'aide des éléments de la chimie inorganique et qui est absolument dépourvu de toute substance organique, on dépose une graine de *mycoderma aceti*, d'un poids nul pour ainsi dire, d'une masse insignifiante.

En l'absence de toute matière verte, à l'obscurité, la graine de mycoderma produit dans ce milieu une quantité considérable de cellules nouvelles de *mycoderma aceti*, d'un poids aussi grand qu'on pourrait le désirer.

Dans cette récolte se rencontrent les matériaux les plus variés et les plus complexes de l'organisation : matières protéiques, celluloses, corps gras, matières colorantes, acide succinique, etc.

Ainsi donc, sans l'aide de la chlorophylle verte, non plus que des vibrations lumineuses, les principes immédiats les plus complexes : matières protéiques, albumine, fibrine, cellulose, matières grasses, etc., ont pris naissance en présence du protoplasma incolore. Du reste, le protoplasma incolore est, moins encore que le protoplasma vert, l'apanage exclusif de

l'un des règnes. Les animaux et les végétaux le possèdent comme élément essentiel, primordial, formateur et générateur de tous les autres. (Cl. Bernard.)

Pendant toute sa durée, la vie du végétal serait donc dominée par le jeu fonctionnel alternatif de ces deux corps chlorophylliens engendrés par le protoplasma : le vert, avec le concours de la lumière, prépare les composés ternaires hydro-carbonés ; l'incolore fait avec ce point de départ les principes quaternaires azotés.

Dans une plante, les cellules vertes travailleraient ainsi pour les cellules incolores.

Jusqu'ici, nous n'avons étudié le protoplasma et ses propriétés qu'au point de vue général; nous n'irons pas plus loin. Dans l'esquisse rapide que nous avons tracée de son rôle dans l'organisme végétal, nous avons voulu bien établir que lui seul était l'agent créateur par excellence, l'unique élément vivant de la cellule, et que l'édification tout entière du végétal était le fruit de ses œuvres, le produit de son activité.

Quant au problème de la création organique ou synthèse vitale, il aurait, ainsi que nous l'avons dit, pour premier degré et pour condition essentielle la synthèse chimique du protoplasma.

Nous allons aborder maintenant, pour ne pas nous éloigner de notre sujet, la description des produits azotés auxquels il donne naissance et dont le nombre est si considérable.

Nous les avons réunis dans le tableau suivant :

Diastases... { Invertine, Emulsine, Myrosine, Pectase, Pepsine, etc., etc.

Pigment chlorophyllien (ne contient pas de soufre. A. Gautier).
Alcurone.
Gluten.
Légumine.
Cristalloïdes.
Asparagine, glutamine, leucine, tyrosine.
Peptones.
Alcaloïdes.
Matières colorantes azotées diverses.

Les deux formes préférées pour l'assimilation de l'azote étant l'acide nitrique et l'ammoniaque, à l'état de nitrates ou de sels ammoniacaux, pour produire des matières albuminoïdes en s'unissant aux hydrates de carbone, l'acide nitrique doit subir une réduction et perdre de l'oxygène. Ce gaz ne se dégage pas à l'état libre ; il se porte probablement sur les substances en voie de désassimilation, pour former notamment les acides organiques. Il est vraisemblable aussi qu'il se forme des amides, comme l'asparagine, la leucine, la tyrosine, et que c'est aux dépens de ces derniers que s'édifient ultérieurement les matières albuminoïdes; mais la marche progressive de cette synthèse est encore inconnue. (Van Tieghem.)

Quant aux substances assimilées, elles sont mises en réserve dans la cellule sous un tel état que, pour pouvoir être reprises à une autre époque par le travail assimilateur et devenir utiles, elles devront subir une série de transformations, sortes de digestions intra-cellulaires dont l'agent principal est le ferment diastasique.

Diastases. — Sous la dénomination générique de *diastase*, nous comprenons tous les ferments azotés qui ont été trouvés dans les tissus des végétaux. La diastase proprement dite, extraite de l'orge germée par les procédés classiques, dédouble en l'hydratant l'amidon en maltose et dextrine.

$$\underset{\text{amiden}}{3\,C^6H^{10}O^5} + H^2O = \underset{\text{maltose}}{C^{12}H^{22}O^{11}} + \underset{\text{dextrine}}{C^6H^{10}O^5}$$

Ainsi que nous l'ont appris les beaux travaux de MM. O. Sullivan, S. Schulze et Musculus.

C'est par un mécanisme en tout semblable que les autres ferments diastasiques opèrent le dédoublement de certaines matières complexes, c'est-à-dire par hydratation.

L'*invertine*, diastase très répandue, aussi bien chez les végétaux inférieurs que chez ceux d'organisation plus complète, agit sur le sucre de canne qu'elle hydrate et dédouble en glucose et lévulose. C'est ce même ferment qui communique à la levure de bière cette propriété de dédoubler et hydrater le saccharose avant qu'il ne subisse la fermentation alcoolique.

L'*émulsine*, ferment très commun chez les amygdalées, décompose l'amygdaline en glycose, essence d'amandes amères et acide cyanhydrique :

$$C^{20}H^{27}AzO^{11} + 2\,H^2O = 2\,(C^6H^{12}O^6) + C^7H^6O + HCAz$$

La *myrosine* contenue dans les grains de moutarde hydrate l'acide myronique du myronate de potasse, et le dédouble en glycose, essence de moutarde et acide sulfurique :

$$\underset{\text{myronate de potasse}}{C^{10}H^{18}KAzSO^{10}} + H^2O = C^6H^{12}O^6 + SO^4KH + \underset{\text{essence de mouton}}{C^3H^5(CAzHS)}$$

Indépendamment des diastases agissant sur les substances ternaires, on a trouvé aussi dans un assez grand nombre de végétaux de la *pepsine* transformant en peptones les matières albuminoïdes. Nous n'insisterons pas davantage sur ces faits bien connus.

Très voisines des matières albuminoïdes dont elles dérivent, mais on ne sait comment, les diastases, qui jouent, comme on le voit, un rôle très important dans la chimie de la cellule, sont encore très peu connues au point de vue de leur constitution chimique.

Un caractère fondamental de ces ferments solubles qui vaut à lui seul tout un ensemble de propriétés les distingue nettement des ferments dits figurés, lesquels voient leur action entravée par la présence dans le milieu fermentescible de substances antiseptiques diverses ; telles que les vapeurs de chloroforme, d'éther, etc., ou d'autres agents, comme l'air com-

primé, l'air raréfié, etc. L'énergie des diastases n'est, cans ces cas, pas du tout amoindrie.

Aleurone. Gluten. Légumine. Cristalloïdes. — Un certain nombre de corps de nature azotée, à existence transitoire et paraissant plus spécialement destinés à la nutrition du protoplasma, tels que l'*aleurone*, le *gluten*, la *légumine*, les *cristalloïdes*, etc., se présentent, soit à l'état amorphe, soit en dissolution dans le suc cellulaire qui les distribuent dans tous les organes de la plante. Le gluten, complètement insoluble dans l'eau, devient soluble au moment de la germination, ainsi qu'un certain nombre d'autres matériaux hydrocarbonés entraînés comme lui.

Quant à la légumine, substance albuminoïde qui prédomine chez les légumineuses, on ne lui connaît pas d'autre rôle que celui de réserve nutritive.

L'histoire physiologique et chimique de l'aleurone offre plus d'attrait. Les naturalistes désignent sous ce nom de petits corps granuleux de forme généralement arrondie, contenant soit des cristaux d'oxalate de chaux, ou des grains non cristallisés, ronds ou en forme de grappe, qu'on appelle des *globoïdes*. Une certaine quantité d'autres composés de forme cristalline se rencontrent aussi dans les corpuscules d'aleurone, ce sont ces composés d'origine protéique qui ont été nommés *cristalloïdes* et qui paraissent formés de substances azotées hétérogènes susceptibles de cristalliser.

Les globoïdes inclus dans les cellules à côté des grains d'aleurone sont riches en acide phosphorique.

Quand on les soumet à la calcination, ils abandonnent un résidu *fortement acide* et que l'analyse indique être formé de phosphate acide de chaux et de phosphate acide de magnésie, avec prédominence du phosphate magnésien sur le phosphate calcaire. Cette particularité de laisser un résidu acide à la calcination permettait d'introduire cette hypothèse qui s'est trouvée réalisée : que la magnésie et la chaux de ces corpuscules étaient unies non pas à de l'acide phosphorique, mais bien à un acide conjugué qui est, dans ce cas particulier, de l'acide phospho-glycérique.

Alcaloïdes. — Un grand nombre de végétaux contiennent des alcaloïdes, ces corps si importants au point de vue médical, dont la plupart sont des composés oxygénés renfermant de l'azote. Ils se rattachent, en général, à des corps fort divers. Les uns, par les produits de leur distillation sèche, paraissent se rattacher à la série quinoléique, comme par exemple la quinine et la cinchonine. D'autres, comme la morphine, sont de véritables phénols, donnant du phénauthrène par distillation avec la poudre de zinc. Enfin, la synthèse partielle de l'atropine nous montre que cette base renferme un groupe aromatique (acide atropique) et un composé probablement pyridique, la tropine. Dans la nicotine, MM. Cabours et Etard ont indiqué l'existence d'un noyau de dipyridine.

C'est aux alcalis organiques que nous faisions allusion tout à l'heure lorsque nous disions que certains matériaux de réserve pouvaient être utilisés par le végétal quelquefois comme matériaux de défense.

Nous empruntons au mémoire de M. Ed. Heckel, sur *le rôle des alcaloïdes toxiques dans les végétaux* (1), ce qui a trait au développement de cette hypothèse... : « On peut se demander si les alcaloïdes dérivés vraisemblablement des matières albuminoïdes du protoplasma, outre le rôle nutritif qu'ils doivent probablement remplir dans la vie du végétal, au moins pendant la période germinative, en tant que réserves alimentaires accumulées dans l'endosperme, ne seraient pas appelés à défendre, par leur action nocive, quelquefois foudroyante (strychnine, brucine, etc...), la plante qui en est douée, contre les attaques des animaux. Il est évident, en effet, comme l'a si souvent mis en lumiere Cl. Bernard, dans ses *Leçons sur les phénomènes communs à la vie des animaux et des végétaux*, que si le règne végétal est appelé, dans l'économie générale du globe, à préparer, avec les substances minérales, des matériaux nutritifs destinés aux animaux, il n'exécute ces transformations moléculaires qu'en vue de ses propres intérêts ; qu'en un mot, chaque règne organisé, malgré les relatious de dépendance qui l'unissent à son collatéral, travaille uniquement pour lui seul. D'autre part, il est remarquable de voir que les alcoloïdes les plus toxiques sont sans action nuisible, non seulement sur les végétaux dont ils tirent leur origine, mais encore sur toutes les plantes en général.

Il résulte, en effet, des travaux de O'Réveil (*De*

(1) Revue scientifique, 12 juillet 1879.

l'*action des poisons sur les plantes*. Lyon, 1865. Thèse de doctorat ès-sciences), que les alcalis organiques peuvent être absorbés en nature par les végétaux, mais que le plus grand nombre reste sans influence (*morphine*, *codéïne*, *nicotine*), et que quelques-unes (*atropine*) activent la végétation et sont de véritables engrais. Ces résultats montrent évidemment qu'il ne saurait être établi la moindre comparaison entre les alcaloïdes et les produits azotés de désassimilation des animaux (*créatine*, *créatinine*, *urée*, lesquels ont une action manifestement toxique sur les organismes dont ils proviennent. Dans ces conditions, serait-il surprenant que l'individualité végétale, parvenue à un certain degré de l'échelle de perfection organique, eût acquis, dans l'intérêt de sa défense, des propriétés toxiques particulières, comparables à la *spinescence*, par exemple, qui caractérise quelques espèces à côté d'autres congénères, vivant dans les mêmes conditions, qui en sont absolument privées?

La répartition des alcaloïdes entre les membres et le tronc du végétal viendrait encore, à mon sens, étayer cette manière de voir. Ce sont, en effet, le plus généralement les organes d'importance majeure pour la vie de la plante qui se trouvent le mieux pourvus de ces productions toxiques. Dans les feuilles, nous les trouvons toujours à volume égal, en quantité moindre que dans l'écorce, et c'est sans doute par cette raison que le système foliaire peut disparaître partiellement ou en totalité sans que la mort de la colonie végétale soit fatalement entraînée par cet

amoindrissement accidentel ou définitif. Ne voyons-nous pas, en effet, les feuilles manquer dans certains végétaux élevés en organisation, qui se trouvent réduits alors à une tige? Et on remarquera que cette manière d'être peut se produire (comme dans beaucoup de plantes grasses, par exemple), sans que la vie parasitaire en soit la conséquence forcée. De même, les mûriers sont presque chaque année dépouillés de leur feuillage presque en totalité, sans que leurs fonctions en souffrent profondément; au contraire, l'écorce paraît plus absolument indispensable à l'harmonie vitale de l'ensemble du végétal et son intégralité est une condition le plus souvent nécessaire à l'existence de la plante. Enfin, quoi qu'en ait pu dire M. Bouchardat, la graine est fréquemment le lieu d'accumulation de l'alcaloïde (il me suffira, pour étayer cette proposition, de citer les principes suivants qui sont tous extraits des graines : *ésérine*, *atropine*, *daturine*, *hyosciamine*, *caféïne*, *théobromine*, *strychnine*, *brucine*, *cocaïne*, *delphine*, *picrotoxine*, *cicutine*, *phellandrine*, *colchicine*, *vératrine*, *pipérine*, etc.), et si ce fait a le caractère de généralité que nous lui connaissons, c'est sans doute parce que l'écorce, partie essentiellement chargée de la nutrition et de la protection du végétal, n'est utile à l'individualité que dans l'espace, tandis que la graine est appelée à la conserver dans le temps.

On pourra objecter, il est vrai, à ces considérations, que la répartition générale des alcaloïdes et des principes actifs telle que je viens de l'indiquer,

n'est pas constante à toutes les périodes de la vie d'une plante donnée, et qu'elle est soumise à de nombreuses variations absolument liées à la périodicité des diverses phases végétatives : on dira que l'*atropine*, par exemple, est, à certaines époques, très abondante dans la racine, à d'autres, dans les feuilles, et qu'elle s'accumule finalement dans le fruit ou les graines. Rien n'est plus exact, et j'ai contribué moi-même, par mes recherches, à placer cette vérité dans son vrai jour pour plusieurs plantes toxiques, mais je ferai remarquer que je ne mets ici en parallèle que des organes divers pris sous le même volume et au moment de leur maximum d'imprégnation alcaloïdique. De plus, ce phénomène de la *migration* des alcaloïdes (ainsi qu'on l'a nommé) vient à l'appui de ma théorie, puisqu'il indique un déplacement successif (de la racine vers les fruits en passant par l'écorce et les feuilles) qui est nécessité par l'apparition d'organes nouvellement formés et réclament une protection bien proportionnée à leur importance. Ces phénomènes de migration, malgré leur généralité, sont surtout bien apparents dans les végétaux qui accomplissent en peu de temps leurs diverses périodes végétatives. »

Amides diverses. — C'est au moment où commence la germination que l'on voit apparaître, dans les organes des végétaux, tous ces composés azotés paraissant dériver directement, par simple hydratation, des matières albuminoïdes.

Les longs et importants travaux de M. Schutzen-

berger, accomplis depuis quinze ans, sur les dédoublements méthodiques de l'albumine et des corps congénères, nous ont démontré la constitution de ces corps et mis sur la voie de leur synthèse future.

En traitant les matières albuminoïdes, en vases clos, à une température convenable par l'hydrate de baryte, on obtient, en premier lieu, des groupes amidés, solubles dans l'eau, cristallisables, doués d'une saveur sucrée, et répondant à la formule générale : $C^{2n} H^{2n} Az^2 O^4$, dans laquelle la valeur de *n* varie entre 12 et 14, suivant l'espèce d'albumine à laquelle on s'est adressé; ces corps sont les *glucoprotéïnes* de M. Schutzenberger.

Ces glucoprotéines, en s'hydratant à leur tour, se dédoubleraient en acide aspartique et ammoniaque.

Or, le composé amidé qui se rencontre d'une façon constante dans l'organisme végétal, à des époques favorables, et qui est de beaucoup le plus important, l'*asparagine*, n'est autre que l'amide aspartique. Il est donc très vraisemblable de supposer que l'hydratation de la glucoprotéïne est successive, et que, avant de se scinder en ses produits ultimes, savoir : l'ammoniaque et l'acide aspartique; cette phase est précédée par la formation de l'asparagine, qu'une hydratation subséquente plus complète fera disparaître à son tour.

L'apparition régulière dans l'économie végétale de cette asparagine, dont l'existence est néanmoins toujours éphémère, prête beaucoup à ce mode d'interprétation.

Un fait toutefois mérite de fixer toute notre attention : les cellules des végétaux ne contiennent jamais d'acide aspartique libre. Ce n'est donc pas dans la cellule vivante que peut se produire cette hydratation de l'asparagine ; elle s'y accumule, en effet, sans se transformer jamais en acide aspartique.

Cette considération nous conduit directement à cette hypothèse que, dans la cellule végétale, la même série de réactions obtenues dans l'hydratation et le dédoublement des matières albuminoïdes, semble s'opérer, mais par un mécanisme tout différent. Le point de départ serait le ferment pepsique, et l'intervention ultérieure des ferments diastasiques achèverait ce qu'aurait commencé la pepsine. Moins énergique toutefois dans sa production, cette hydratation, sous l'influence des ferments, n'irait pas au delà de l'asparagine qui ne serait point dédoublée.

Du reste, d'autres raisons du même ordre viennent encore à l'appui de cette manière de voir. Lorsque les substances protéïques sont soumises à l'action de l'hydrate de baryte, à une temqérature élevée, outre l'ammoniaque et l'acide aspartique produits d'hydratation de l'asparagine, on voit se produire également d'autres acides tels que : l'acide glutamique et de l'ammoniaque correspondant à la glutamine, ainsi que de la leucine et de la tyrosine. Si donc, par un mécanisme différent, il est vrai, les substances albuminoïdes du protoplasma subissent, dans la cellule vivante, un dédoublement analogue, ce dont témoigne la production normale d'asparagine, on devra s'at-

tendre à trouver aussi ces divers corps en dissolution dans le suc cellulaire. Et, en effet, l'asparigine y est toujours accompagnée, en proportions variables suivant les cas, de glutamine, de leucine et de tyrosine, (Van Tieghem.)

CHAPITRE III.

TRANSFORMATIONS DES MATÉRIAUX AZOTÉS CHEZ LES ANIMAUX

Le rôle immense que joue la végétation dans l'ordre de l'univers trouve sa source principale dans cette considération que le règne animal est entièrement assujetti à l'existence du règne végétal. Les herbivores ont besoin pour vivre de consommer sans cesse les matières organiques qu'ils trouvent toutes formées dans les plantes, et les carnivores, en faisant leur proie des premiers, deviennent aussi, mais d'une manière indirecte, les tributaires du règne végétal.

Chez l'animal comme chez la plante, la vie réside dans chaque cellule organique ; elle n'est centralisée nulle part, dans aucun appareil. Tous les appareils, au contraire, sont eux-mêmes construits en vue de la vie cellulaire.

Toutefois, dans cette vie cellulaire qui constitue les organismes, il y a à la fois autonomie, différenciation et subordination des éléments anatoniques. L'autonomie des éléments, ainsi que leur différenciation, nous expliquent la variété des manifestations vitales. La subordination nous explique leur harmonie.

Si nous examinons maintenant comparativement les propriétés chimiques du protoplasma végétal et celles du protoplasma animal, nous pourrons nous convaincre que les réactifs chimiques exercent sur ces deux protoplasmas des actions tout à fait identiques. Les analogies, du reste, se poursuivent partout; les phénomènes fondamentaux de la nutrition, de l'évolution, sont les mêmes dans les deux espèces de protoplasma ; ils se nourrissent de la même façon, respirent de la même façon, etc.; aussi ne serons-nous point surpris que ces analogies de structure et des propriétés nous conduisent à des analogies parfaites de fonctions absolument comparables.

Si quelques naturalistes ont cru devoir établir quelques différences, elles sont dues à la présence dans le protoplasma végétal du pigment chlorophyllien, lequel existe, du reste, chez certaines espèces animales, et dont les propriétés réductrices voilent les propriétés propres à la substance protoplasmique qui en est revêtue (1).

Une expérience due à Claude Bernard et demeurée classique fait bien ressortir également l'identité des deux formes de protoplasma : l'illustre physiologiste soumet à l'action des vapeurs d'éther une sensitive vigoureuse et en bon état, en la mettant sous une cloche dans laquelle il avait introduit une éponge imbibée d'éther. Au bout d'une demi-heure la plante étai*

(1) De Lanessan. Du protoplasma végétal. Thèse d'agrégation, 1876.

anesthésiée : ses feuilles restaient complètement ouvertes, mais elles n'avaient plus aucune tendance à se rétracter lorsqu'on les touchait. Une fois soustraite à l'influence de l'éther, la sensitive reprit peu à peu son irritabilité et finit par devenir aussi sensible au toucher qu'elle l'était auparavant.

Évidemment dans ces cas l'irritabilité du protoplasma avait été suspendue par l'agent anesthésique, de sorte que la plante ne répondait plus à l'action des stimulations extérieures.

Mais ce n'est pas seulement sur l'irritabilité du protoplasme des éléments moteurs que les agents anesthésiques peuvent exercer leur influence. Ils peuvent agir aussi sur le protoplasme des cellules chargées de la synthèse chimique, telle qu'elle se manifeste dans les phénomènes de la germination de la graine et dans la nutrition en général, et Claude Bernard a fait voir que la germination est suspendue par l'action de l'éther ou du chloroforme.

Pour cela, il a pris des graines de cresson *alénois*, et les a placées dans des conditions favorables à une prompte germination, puis il les a soumises à l'action de la vapeur d'éther. La germination, qui sans cela se serait manifestée le lendemain, fut suspendue.

Les graines furent maintenues pendant cinq ou six jours sous l'influence de l'éther, et pendant tout ce temps ne montrèrent aucune tendance à germer. Mais elles n'étaient pas mortes, elles n'étaient qu'endormies, car lorsque l'air ordinaire remplaça l'air

éthérisé dans lequel elles avaient été plongées, la germination reprit et marcha activement.

Ces préliminaires établis, nous devons étudier quelles sont les transformations que subissent les matières azotées dans l'économie animale.

Si, comme nous l'avons fait dans le chapitre précédent pour le règne végétal, nous essayons de dresser, sous forme de tableau, le dénombrement des produits azotés que l'on rencontre dans le règne animal, nous trouverons là encore les analogies les plus frappantes avec les produits azotés du règne végétal ; mais la complexité des réactions étant le corollaire obligé de la complexité du milieu qui les a produites, le nombre des substances azotées sera, on le conçoit, beaucoup plus considérable.

Du reste, parmi les matières albuminoïdes de l'organisme, un certain nombre, les matières collagènes notamment, n'ont pas d'analogues dans le règne végétal. On ne rencontre pas non plus, chez les plantes, ces substances se rapprochant beaucoup, par certaines de leurs propriétés, des matières protéiques appelées *protéides*, l'hémoglobine, par exemple. Il faut, de toute nécessité, admettre qu'elles constituent des produits de transformation propres au règne animal.

MATIÈRES ALBUMINOIDES.

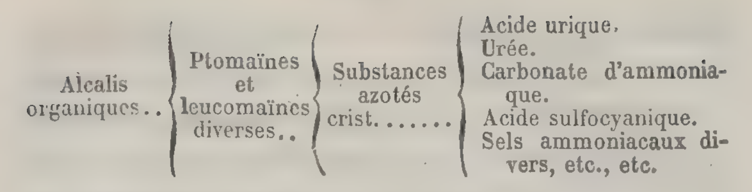
Matières assimilables contenues dans le tube digestif.	Matières assimilées contenues dans le sang.	Matières assimilées dans les tissus et dans les humeurs.
Syntonine.	Sérine.	Albumine.
Peptones.	Fibrinogène.	Paralbumine.
	Mat. fibrinoplastique.	Métalbumine.
	Caséine.	Fibrinogène.
	Globuline.	Mat. fibrinoplastiqᵉ.
	Hémoglobine.	Fibrine.
		Myosine.
		Globuline.
		Syntonine.
		Caséine.
		Vitelline.
		Substance amyloïde.
		—
		Kératine.
		Fibroïne.
		Elastine.
		Osséine.
		Chondrogène.
		Mucine.
		Nucléine.
		—
		Ptyaline et ferments.
		Diastasiques.
		Pepsine.
		Pancréatine.
		—
		Peptones.
		—
		Chitine.

MATIÈRES AZOTÉES DIVERSES

Acides biliaires et produits de dédoublements.

Acide taurocholique $C^{26}H^{45}AzSO^{7}$.
— glycocholique $C^{26}H^{43}AzO^{6}$.
— hippurique $C^{9}H^{9}AzO^{3}$.
— hynurénique.
— urocanique $C^{12}H^{12}Az^{4}O^{4}$.
— mosique + 4 $H^{2}O$.
— oxalurique $C^{3}H^{4}Az^{2}O4$.
Tyrosine $C^{9}H^{11}AzO^{3}$.
Leucine $C^{6}H^{13}AzO^{2}$.
Butalanine $C^{5}H^{11}AzO^{2}$.
Glycocolle $C^{2}H^{5}AzO^{2}$.
Névrine $C^{5}H^{15}AzO^{2}$.
Guanine $C^{5}H^{5}Az^{5}O$.

Sarcine $C^{5}H^{4}Az^{4}O$.
Xanthine $C^{5}H^{4}Az^{4}O^{2}$.
Acide urique $C^{5}H^{4}Az^{4}O^{3}$.
Allantoïne $C^{4}A^{6}Az^{4}O^{3}$.
Créatine $C^{4}H^{9}Az^{3}O^{2}$.
Créatinine $C^{4}H^{7}Az^{3}O$.
Carnine $C^{7}H^{8}Az^{4}O^{3}$.
Pigments colorés de la bile et de l'urine.
Acide indoxylsulfurique.
Indigo $C^{16}H^{10}Az^{2}O^{2}$.
Urée $CH^{4}Az^{2}O$.



Alcalis organiques..	Ptomaïnes et leucomaïnes diverses..	Substances azotés crist.	Acide urique. Urée. Carbonate d'ammoniaque. Acide sulfocyanique. Sels ammoniacaux divers, etc., etc.

Dans tous les cas, les principes immédiats de nature azotée qui, pour la plupart, se forment dans les tissus et les humeurs de l'économie animale, ont leurs représentants dans le règne végétal.

De ce fait que les animaux utilisent les produits azotés tirés du règne végétal, on ne saurait en déduire qu'il s'agit là d'une *nutrition directe*, c'est-à-dire que les principes immédiats, passant des plantes dans les animaux, s'y mettent en place chacun selon sa nature. La nutrition chez l'animal est toujours indirecte. L'aliment disparaît d'abord en tant que matière chimique définie, et ce n'est qu'après un travail organique complexe qu'il est susceptible d'être assimilé.

On sait que les animaux peuvent former du sucre et de la graisse aux dépens des matières albuminoïdes.

Lorsqu'il y a identité de composition chimique entre la molécule d'un tissu et l'un des éléments dissous dans le sang, la nutrition dans ce cas n'est pas le résultat d'une simple affinité élective, d'une pure attraction chimique entre des parties homogènes et identiques ; l'élément histologique, soit fibre, soit cellule, doit modifier et transformer, de façon à rendre semblable à lui-même l'élément qu'il a puisé

dans le sang, il faut qu'il l'assimile à sa propre substance, en le faisant participer aux forces dont lui-même est doué. Ainsi le nerf forme la substance nerveuse, le muscle de la substance musculaire, etc.

Il n'y a pas jusqu'aux produits pathologiques organisés qui ne s'assimilent de nouveaux matériaux : la verrue cutanée grossit, l'ulcère nourrit son fond et ses bords de la manière exigée par son mode particulier de vie et de sécrétion. Enfin, la conversion des matériaux nutritifs en un organe doué de productivité morbide peut aller jusqu'à la ruine de l'être vivant tout entier.

« Il y a dans l'économie animale un mouvement incessant, un échange continuel de principes immédiats, et comme un double courant de matériaux qui entrent, de matériaux qui sortent. Ce double courant est marqué par deux séries de phénomènes chimiques : les uns aboutissent à la fixation des principes immédiats dans l'économie, à leur *assimilation*, les autres à leur décomposition, à leur métamorphose régressive ou, comme on dit, à leur *désassimilation*. L'ensemble de ces réactions constitue les phénomènes chimiques de la *nutrition*. » (Wurtz, Chimie biologique, p. 35.)

Les matières azotées de l'alimentation transformées dans l'appareil digestif en peptones sous l'influence des diverses diastases qu'elles ont rencontrées, sont versées dans le sang ou la lymphe, où elles semblent devoir se reconstituer promptement en albumine. Nous trouvons, en effet, dans le chyle, à la place de

peptones, de la sérine et de la fibrine qui sont des produits perfectionnés, en quelque sorte, et prêts pour l'assimilation.

Ce qui est vrai pour le chyle l'est aussi pour le sang. Les substances azotées qu'il renferme diffèrent des peptones dont il ne contient que des traces. Il n'est donc pas douteux que les matériaux organiques, qui passent ainsi dans ces milieux, y subissent des transformations en vue du travail synthétique de l'assimilation.

Nous n'ignorons pas, en somme, que les substances azotées, après avoir fourni dans leur travail d'assimilation, sans doute, un très grand nombre de produits intermédiaires, dont la nature nous échappe, subissent une série de dédoublements, d'hydratations, de réductions, d'oxydations, etc., aux termes desquels elles passent de l'état organique à l'état inorganique ou *cristallisable*, et sont alors éliminées par les reins et les fèces. Mais ce qui nous est tout à fait inconnu, c'est la matière et le lieu de ces transformations successives.

Nous savons cependant qu'il faut tenir compte d'une opinion émise par divers savants relativement à l'identité absolue de composition des mêmes matériaux azotés appartenant au règne animal et au règne végétal. Les travaux de Ritthausen (1) ne laissent, à ce sujet, aucun doute, et ses conclusions sont depuis

(1) Ritthausen. Die eiweisskorper der getreidcarten. Hülsenfrüchte und OElsamen, p. 230. Berm., 1872.

longtemps des faits acquis à la science. Ce chimiste a démontré que non seulement les matières protéiques végétales diffèrent assez notablement de celles d'origine animale, mais que l'on trouve même de légères différences de propriétés physiques et de composition chimique entre les matières albuminoïdes des diverses graines de plantes oléagineuses.

Les réactions en vertu desquelles s'opèrent les phénomènes de déassimilation sont intimement liées aux phénomènes de la combustion respiratoire. En effet, parmi les produits de dénutrition, que nous rencontrons dans les tissus et dans les humeurs, un très grand nombre sont formés par oxydation. On peut les obtenir artificiellement en oxydant, en dehors de l'économie, les matériaux qui se métamorphosent dans l'intimité des tissus.

Ainsi par l'oxydation des matières albuminoïdes, on peut obtenir des acides gras volatils, de l'acide benzoïque et de l'acide succinique. Aussi nous pouvons considérer ces corps dans l'économie elle-même comme des produits d'oxydation de ces matières.

Le glycocolle, ou acide amidoacétique, à l'état de liberté, n'a pas été rencontré dans l'économie animale, du moins chez l'homme. Mais nous savons que lorsqu'on introduit un glycocolle dans l'économie, il donne naissance à un acide uramique en fixant les éléments de l'acide cyanique. L'expérience de Wöhler, tant de fois citée, peut nous fournir à cet égard d'utiles indications sur le rôle important que doit jouer le glycocolle. L'acide benzoïque ingéré dans l'écono-

mie se retrouve dans l'urine sous forme d'acide hippurique. Les éléments du glycocolle s'y ajoutent donc quelque part, dans le foie peut-être, ou simplement dans le sang.

Les acides biliaires, les lécithines diverses de l'économie paraissent devoir se former aussi synthétiquement comme l'acide hippurique dont nous venons de parler. La névrine et l'acide phosphoglycérique, produits relativement simples, et dont on conçoit la formation, dans les procédés de la désassimilation aux dépens de molécules plus complexes, peuvent très bien s'unir aux acides gras palmitique et oléique contenus dans le sang et créer les lécithines. Ce sont là, assurément, de pures hypothèses, mais c'est, pour le moment du moins, tout ce que nous pouvons nous permettre sur la production synthétique de ces matériaux azotés dont le mécanisme des métamorphoses est encore entouré d'obscurités.

Nous avons vu, dans le précédent chapitre, que des substances alcaloïdiques essentiellement azotées apparaissent dans les organes d'un grand nombre de végétaux utiles.

La production de tout une série de substances azotées actives dans l'économie animale est un fait aujourd'hui parfaitement établi, depuis les travaux remarquables de M. A. Gautier.

En 1872, M. Gautier découvrit que les matières de nature alcaloïdique apparaissent dans le cours de la putréfaction des substances albuminoïdes.

Cette découverte, confirmée, presque à la même

époque, par divers expérimentateurs, notamment par M. Selmi, professeur de toxicologie à l'Université de Bologne, qui retira de cadavres exhumés un certain nombre d'alcalis toxiques, a été depuis quelques années l'objet de plusieurs travaux remarquables, et la nature en quelque sorte mystérieuse des premières bases putréfactives extraites par les divers chimistes qui s'en sont occupés est aujourd'hui bien connue.

Ces corps, désignés sous le nom de *ptomaïnes*, ont été complètement étudiés par M. le professeur Gautier, en collaboration avec M. Etard. Ces savants ont établi que ces ptomaïnes appartenaient, les unes à la série *pyridique*, les autres à la série *hydropyridique*. Elles se présentent, en général, sous forme de liquides huileux incolores et très alcalins. Quelques-unes, non oxygénées, sont pourvues d'une odeur extrêmement persistante. Toutes paraissent très oxydables, très instables et possèdent la propriété de donner des précipités avec les réactifs généraux des alcaloïdes.

Une autre découverte, bien plus importante encore, a été faite en 1881, par M. Gautier : c'est celle des *leucomaïnes*, corps voisins des ptomaïnes, d'une toxicité moindre et qui apparaissent normalement, mais d'une façon constante dans les excrétions fournies par les animaux vivants et en santé.

Un chimiste de Berlin, M. Kossel, a découvert récemment une de ces nouvelles bases qu'il a retirée du pancréas et de la rate, mais qui, d'après cet auteur, existe dans toutes les cellules animales ou végétales. Il lui a donné le nom d'*adénine*.

Cette leucomaïne est bien définie, en longs cristaux, donnant de beaux sels avec les acides organiques ou minéraux. Elle présente un grand intérêt, non seulement parce qu'elle est très répandue, mais aussi à cause de sa constitution particulière qui en fait un pentamère de l'acide cyanhydrique $H^5C^5Az^5$.

Sous l'influence de l'acide azotique, l'adénine se transforme intégralement en hypoxanthine, ce qui la classe dans le groupe des corps de la série urique.

Paris. — Typ. A. PARENT, A. DAVY, succ., imp. de la Faculté de médecine, 52, rue Madame et rue Corneille, 3